

(19) 日本国特許庁 (JP)

再公表特許 (A 1)

(11) 国際公開番号

WO 00 / 5 7 1 2 9

発行日 平成14年7月2日 (2002. 7. 2)

(43) 国際公開日 平成12年9月28日 (2000. 9. 28)

(51) Int. Cl.⁷

識別記号

F I

G 0 1 B 11/245
B 2 5 J 13/08
B 6 5 G 61/00
G 0 6 T 7/00

G 0 1 B 11/24 N
B 2 5 J 13/08 A
B 6 5 G 61/00
G 0 6 F 15/62 4 1 5

審査請求

有

予備審査請求

有

(全 4 3 頁)

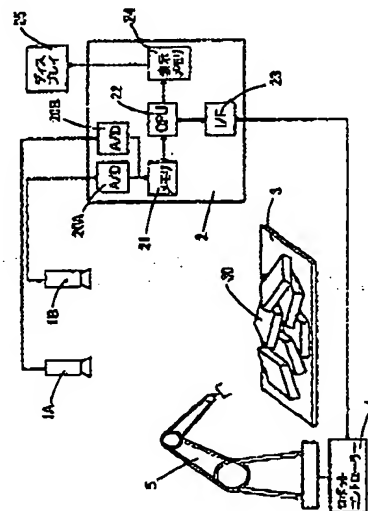
出願番号 特願2000-608956 (P2000-608956)
(21) 国際出願番号 PCT/JP00/01685
(22) 国際出願日 平成12年3月17日 (2000. 3. 17)
(31) 優先権主張番号 特願平11-76538
(32) 優先日 平成11年3月19日 (1999. 3. 19)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)
(31) 優先権主張番号 特願平11-253099
(32) 優先日 平成11年9月7日 (1999. 9. 7)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)
(31) 優先権主張番号 特願平11-304437
(32) 優先日 平成11年10月26日 (1999. 10. 26)
(33) 優先権主張国 日本 (J P)
(81) 指定国 C N, D E, J P, U S

(71) 出願人 松下電工株式会社
大阪府門真市大字門真1048番地
(72) 発明者 顧 海松
大阪府吹田市山田西4-4-14-505
(72) 発明者 中原 智治
兵庫県西宮市松下町6-24-402
(72) 発明者 荒木 秀和
大阪府守口市梶町2-30-4-205
(72) 発明者 藤井 裕之
大阪府四條畷市岡山東4-8-10
(74) 代理人 弁理士 西川 恵浩 (外1名)

(54) 【発明の名称】 3次元物体認識方法および同方法を使用したピンピッキングシステム

(57) 【要約】

ピンピッキングシステムに使用可能な3次元物体認識方法であって、物体の第1及び第2画像を得るステップ (A) と、第1及び第2画像において物体の二次元特徴を検出するステップ (B) と、物体のモデルデータとの比較によりステップ (B) の信頼度を評価するステップ (C) と、第1及び第2画像の二次元特徴を対応付けするステップ (D) と、第1画像における二次元特徴を第2画像における二次元特徴と比較することによりステップ (D) の信頼度を評価するステップ (E) と、対応付けから得られる二次元特徴の三次元情報に基づいて物体の三次元位置・姿勢を認識するステップ (F) と、認識された三次元位置・姿勢の信頼度を評価するステップ (G) とを含む。



(2)

WO00/57129

【特許請求の範囲】**【請求項1】**以下のステップに特徴を有する3次元物体認識方法：

物体の立体視を形成可能な一対の第1画像および第2画像を撮像するステップ（A）と、

第1画像と第2画像の各々において、前記物体の二次元特徴を検出するステップ（B）と、

ステレオ計測原理に基づいて第1画像と第2画像との間で前記二次元特徴を対応付けするステップ（D）と、

前記対応付けによって得られる前記二次元特徴の三次元情報に基づいて、前記物体の三次元位置・姿勢を認識するステップ（F）と、

認識された三次元位置・姿勢の信頼度を評価するステップ（G）とを含み、しかるに、前記認識方法は、ステップ（B）と（D）の間に実施され、前記物体のモデルデータとの比較によりステップ（B）の結果の信頼度を評価するステップ（C）と、ステップ（D）と（F）の間に実施され、第1画像において検出された二次元特徴を第2画像において検出された対応する二次元特徴と比較することによりステップ（D）の結果の信頼度を評価するステップ（E）の少なくとも一方を含む。

【請求項2】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ（B）は、物体の代表的な幾何学的特徴を優先的に検出するとともに、前記代表的特徴以外の幾何学的特徴を補助的特徴として検出することで前記物体の二次元形状を抽出することを含む。

【請求項3】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ（C）は、第1画像および第2画像の各々において検出された二次元特徴を前記モデルデータの対応する二次元特徴と比較し、それらの間の差異が所定の閾値を超える場合には誤検出として前記検出された二次元特徴を削除することを含む。

【請求項4】請求項3に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ（C）において、前記二次元特徴は、物体の直線、直線長さ、方向、物体の矩形を形成する第1平行直線対と第2平行直線対のなす角度、お

(3)

WO00/57129

および平行直線間の距離の少なくとも一つを含む。

【請求項5】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ(E)は、第1画像において検出された二次元特徴を第2画像において検出された対応する二次元特徴と比較し、それらの間の差異が所定の閾値を超える場合には誤対応として前記検出された二次元特徴を削除することを含む。

【請求項6】請求項5に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ(E)において、前記二次元特徴は、物体の直線、直線長さ、物体の矩形を形成する第1平行直線対と第2平行直線対のなす角度、および平行直線対間の距離の少なくとも一つを含む。

【請求項7】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ(F)は、前記二次元特徴の三次元情報に基づいて、物体を代表する点の三次元座標を前記物体の位置として求めるとともに、物体を代表する平面の法線方向を前記物体の姿勢として求めることを含む。

【請求項8】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ(F)は、前記二次元特徴の三次元情報に基づいて、物体を代表する複数の点の三次元座標の平均値を前記物体の位置として求めるとともに、物体を代表する複数の平面の法線方向の平均を前記物体の姿勢として求めることを含む。

【請求項9】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ(F)は、物体上に付与された模様を検出することにより前記物体の三次元姿勢を認識することを含む。

【請求項10】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ(F)は、物体上に付与された色を検出することにより前記物体の三次元姿勢を認識することを含む。

【請求項11】請求項1に記載の3次元物体認識方法において、

上記ステップ(G)は、ステップ(F)において認識された物体の三次元位置・姿勢を物体の既知の三次元特徴と比較し、それらの間の差に基づいて認識された三次元位置・姿勢に信頼度のランクを付けることを含む。

(4)

WO 00 / 5 7 1 2 9

【請求項 1 2】請求項 1 に記載の 3 次元物体認識方法において、

前記信頼度は、物体の幾何学的特徴に関する少なくとも 2 つの評価因子を含む信頼度評価式に基づいて評価され、前記評価因子の各々は、その評価因子の重要度に応じて重み付けされる。

【請求項 1 3】請求項 1 に記載の 3 次元物体認識方法において、

上記ステップ (F) において得られる物体の三次元位置・姿勢に基づいて、左右画像上での物体の二次元特徴を予測するステップ (H) と、ステップ (B) において検出した二次元特徴と前記予測した二次元特徴の整合性を評価するステップ (I) とを含む。

【請求項 1 4】請求項 1 に記載の 3 次元物体認識方法において、

上記ステップ (A) は、前記第 1 画像および第 2 画像とは異なる視点から物体を撮像して第 3 画像を提供することを含み、

上記ステップ (B) は、第 1 及び第 2 画像に加えて第 3 画像において前記物体の二次元特徴を検出することを含み、

上記ステップ (D) は、ステレオ計測原理に基づいて第 1 画像と第 2 画像間、第 2 画像と第 3 画像間、および第 1 画像と第 3 画像間の各々において前記二次元特徴の対応付けを行うことを含み、

しかるに、上記ステップ (E) は、上記ステップ (D) の結果の信頼度を評価し、最も高い信頼度を有する二次元特徴の対応付けをステップ (F) に提供することを含む。

【請求項 1 5】請求項 1 に記載の 3 次元物体認識方法を使用したピンピッキングシステムであって、前記システムは、

前記 3 次元物体認識方法を実施するための画像処理装置と、

フレキシブルロボットアームを有するロボットと、

前記画像処理装置から提供される情報に基づいて、前記ロボットアームが複数の物体がばら積みにされているピンから物体をピックアップし、ピックアップした物体を所定の位置に搬送するように、前記ロボットを制御するロボットコントローラーとを含む。

【請求項 1 6】以下のステップに特徴を有する 3 次元物体認識方法：

(5)

WO00/57129

物体の立体視を形成可能な一対の第1画像および第2画像およびこれらと異なる視点から第3画像を撮像するステップ(A)と、

第1画像、第2画像および第3画像の各々において、物体の二次元特徴を検出するステップ(B)と、

ステレオ計測原理に基づいて検出された二次元特徴を第1画像と第2画像との間および第1画像と第3画像との間でそれぞれ対応付けするステップ(D)と、

第1画像と第2画像との間の対応付けから得られる二次元特徴の三次元情報に基づいて物体の三次元位置・姿勢を第1候補として認識するとともに、第1画像と第3画像との間の対応付けから得られる二次元特徴の三次元情報に基づいて物体の三次元位置・姿勢を第2候補として認識するステップ(F)と、

前記第1候補及び第2候補の各々の信頼度を評価ステップ(G)とを含み、

しかるに、前記認識方法は、ステップ(B)と(D)の間に実施され、前記物体のモデルデータとの比較によりステップ(B)の結果の信頼度を評価するステップ(C)と、ステップ(D)と(F)の間に実施され、第1画像において検出された二次元特徴を第2画像および第3画像において検出された対応する二次元特徴と比較することによりステップ(D)の結果の信頼度を評価するステップ(E)の少なくとも一方と、

ステップ(G)から提供される第1候補と第2候補とに基づいて物体の三次元位置・姿勢を決定するステップ(H)を含む。

【請求項17】請求項16に記載の3次元物体認識方法を使用したピンピッキングシステムであって、前記システムは、

前記3次元物体認識方法を実施するための画像処理装置と、

フレキシブルロボットアームを有するロボットと、

前記画像処理装置から提供される情報に基づいて、前記ロボットアームが複数の物体がばら積みにされているピンから物体をピックアップし、ピックアップした物体を所定の位置に搬送するように、前記ロボットを制御するロボットコントローラーとを含む。

(6)

WO 00 / 5 7 1 2 9

【発明の詳細な説明】**技術分野**

本発明は、対象とする物体を正確に且つ高速度で認識することができる3次元物体認識方法、および同方法を用いたピンピッキングシステムに関するものである。

背景技術

従来より、立体視を形成可能な一対の二次元画像を使用して物体の形状や3次元位置・姿勢を認識する種々の方法が提案されている。例えば、日本公開特許公報第10-206135号は、「三次元物体位置・姿勢決定方法」について記載している。この方法においては、三次元物体である自由曲面体を観測して得られるステレオ画像からエッジ画像を抽出し、その局所的特徴によりセグメントに分割し、このセグメントに局所的幾何特徴を付加する。次いで、セグメントの局所的幾何特徴を予め作成した自由曲面体モデルの局所的幾何特徴モデルと初期照合して対応する候補を検出し、この候補の位置姿勢および観測方向より自由曲面体の見かけの輪郭線に対応する自由曲面体モデルの小平面パッチを選び、選択された小平面パッチを用いて対応する候補を微調整する。上記の初期照合と微調整の認識処理により自由曲面体の位置姿勢を検出する。

また、日本公開特許公報第8-136220号は、「物品の位置検出方法およびその装置」について記載している。この方法においては、2台のカメラによって撮像された物体の画像から線分・円弧等の特徴部を抽出し、これらの特徴部と部品の二次元見え方モデル上の特徴部とをマッチングさせることによりステレオ計測原理による左右画像間の対応付けを行う。この対応付けの結果を用いて各特徴部の三次元位置を計測するとともに、物体の三次元構造モデルを設定する。三次元位置の計測された特徴部と三次元構造モデル上の特徴部とをマッチングさせることにより物体の三次元位置を算出する。

さらに、日本公開特許公報第4-130587号は、「三次元画像評価装置」について記載している。この装置においては、3台のTVカメラによって撮像された物体の画像情報とその物体の既知の三次元モデルデータとに基づいて物体の位置姿勢が推定される。次いで、推定された位置姿勢にあるモデルを撮像し

(7)

WO 00 / 5 7 1 2 9

た時に得られる画像情報を予測して予測画像情報を得る。TVカメラによって撮像された画像情報を予測画像情報と比較し、それらの間の一致度を求めることで三次元物体の認識を行う。

これらの方法においては、撮像手段によって得られる画像から検出された情報が正しいことを前提条件としているので、同一形状の対象物体がばら積みされた状況を撮像して得られる複雑な情報を含む画像や画像にノイズが存在する場合には、正確な物体認識結果が得られないという問題がある。さらに、日本公開特許公報第10-206135号および第08-136220号の方法においては、まず、三次元情報から二次元特徴の予測値を求めて照合を行い、その照合結果から三次元位置・姿勢の推定を修正し、得られた三次元情報から二次元特徴を予測するといった繰り返し処理が必要なので、処理時間が長くなり、結果的に認識効率が悪いという問題もある。

発明の開示

したがって、本発明の主たる目的は、物体の三次元位置・姿勢を正確に且つ高速度で認識することができる3次元物体認識方法を提供することである。すなわち、この3次元物体認識方法は、物体の立体視を形成可能な一対の第1画像および第2画像を撮像するステップ(A)と、第1画像と第2画像の各々において、物体の二次元特徴を検出するステップ(B)と、ステレオ計測原理に基づいて第1画像と第2画像との間で二次元特徴を対応付けするステップ(D)と、その対応付けによって得られる二次元特徴の三次元情報に基づいて、物体の三次元位置・姿勢を認識するステップ(F)と、認識された三次元位置・姿勢の信頼度を評価するステップ(G)とを含むものであって、ステップ(B)と(D)の間に実施され、物体の既知のモデルデータとの比較によりステップ(B)の結果の信頼度を評価するステップ(C)と、ステップ(D)と(F)の間に実施され、第1画像において検出された二次元特徴を第2画像において検出された対応する二次元特徴と比較することによりステップ(D)の結果の信頼度を評価するステップ(E)の少なくとも一方を含むことに特徴がある。

(8)

WO 00 / 5 7 1 2 9

また、本発明のさらなる目的は、物体の三次元位置・姿勢を正確に且つ高速度で認識することができる以下の3次元物体認識方法を提供することである。

すなわち、この3次元物体認識方法は、

物体の立体視を形成可能な一対の第1画像および第2画像およびこれらと異なる視点から第3画像を撮像するステップ(A)と、

第1画像、第2画像および第3画像の各々において、物体の二次元特徴を検出するステップ(B)と、

ステレオ計測原理に基づいて検出された二次元特徴を第1画像と第2画像との間および第1画像と第3画像との間でそれぞれ対応付けするステップ(D)と、

第1画像と第2画像との間の対応付けから得られる二次元特徴の三次元情報に基づいて物体の三次元位置・姿勢を第1候補として認識するとともに、第1画像と第3画像との間の対応付けから得られる二次元特徴の三次元情報に基づいて物体の三次元位置・姿勢を第2候補として認識するステップ(F)と、前記第1候補及び第2候補の各々の信頼度を評価ステップ(G)とを含むものであって、ステップ(B)と(D)の間に実施され、前記物体のモデルデータとの比較によりステップ(B)の結果の信頼度を評価するステップ(C)と、ステップ(D)と(F)の間に実施され、第1画像において検出された二次元特徴を第2画像および第3画像において検出された対応する二次元特徴と比較することによりステップ(D)の結果の信頼度を評価するステップ(E)の少なくとも一方を含むとともに、

ステップ(G)から提供される第1候補と第2候補とに基づいて物体の三次元位置・姿勢を決定するステップ(H)を含むことに特徴がある。

本発明の別の目的は、上記した3次元物体認識方法を使用したピンピッキングシステムを提供することである。本発明のピンピッキングシステムは、上記した3次元物体認識方法を実施するための画像処理装置と、フレキシブルロボットアームを有するロボットと、画像処理装置から提供される情報に基づいて、ロボットアームが複数の物体がばら積みにされているビンから物体をピックアップし、ピックアップした物体を所定の位置に搬送するように、ロボットを制御するロボットコントローラーとを含むことを特徴とするものである。これにより、同

(9)

WO 00 / 5 7 1 2 9

一形状の複数の部品がばら積みされているピンから部品をピックアップする場合であっても、ピンから最もピックアップしやすい部品を選択してピックアップすることができるので、ピックアップミスの発生を防いで、製造ラインにおける正確かつ高効率な部品供給を提供することができる。

本発明のさらなる特徴およびそれがもたらす効果は、添付された図面を参照して以下に述べる発明の詳細な説明および実施例から理解されるだろう。

発明を実施するための最良の形態

[第1実施例]

本発明の3次元物体認識方法は、部品を供給するためのピンピックアップシステムに好適に使用される。例えば、図1に示すように、ピンピックアップシステムは、一対のTVカメラ(1A、1B)、これらのTVカメラから提供される画像情報を使用して本発明の三次元物体認識方法を実施するための画像処理装置2と、部品30をキャッチする能力を有するフレキシブルロボットアームを備えたロボット5と、ロボットアームが画像処理装置2から提供される出力に基づいて複数の部品30がピックアップテーブル3上にばら積みにされているピンから一つの部品30をピックアップし、ピックアップした部品を所定の位置に搬送するようにロボット5を制御するロボットコントローラ4とを含む。

画像処理装置2においては、撮像された映像信号が一対のA/D変換部(20A、20B)によりデジタル信号に変換され、メモリ21に一旦保存される。次いで、CPU22において本発明の三次元認識方法が実施され、得られた物体の三次元空間における位置・姿勢データが通信I/F23を介してロボットコントローラ4に送られる。認識結果は、表示メモリ24に保存され、ディスプレイ25上に表示することができる。

以下に、図2のフローチャートを参照しながら本発明の3次元物体認識方法を詳細に説明する。

<ステップ100A、100B>

ステップ100A、100Bにおいて、ピックアップテーブル3上にばら積みにされている複数の部品30がTVカメラ1AとTVカメラ1Bにより撮像される。撮像された一対の左画像と右画像の一例を図3(A)および図(3B)

(10)

WO00/57129

に示す。本実施例で使用される部品30の各々は、光沢のある金属材料で作成された図4に示すような略矩形状のフレーム部品であり、裏面上に平行な長辺対31、表面上に平行な長辺対33および短辺対32を有する。

<ステップ101A、101B>

次に、ステップ101A、101Bにおいて、左右画像から部品の二次元特徴を検出する。TVカメラ1A、1Bによって撮像された左右画像がA/D変換器(20A、20B)によりデジタル信号に変換された後、左右画像の各々について濃淡パターンに基づくエッジ画像が作成される。本実施例においては、フレーム部品が光沢のある金属材料で作成されているので、照明によりハイライトを形成してエッジ画像を作成している。次いで、左右画像の各々において、フレーム部品の代表的特徴である長辺対がハフ変換により検出される。図5(A)および図5(B)は、図3(A)および図3(B)の左右画像において、それぞれ長辺対を検出した結果である。ハフ変換は、“投票による証拠情報の統合”と“多数決原理”に基づく周知の直線検出方法であるので、その原理についての説明は省略する。

次に、長辺対間の領域に対してハフ変換により部品の補助的特徴である短辺対を検出する。図6に1個の部品30について長辺対(41a、41b)と短辺対(42a、42b)を検出した結果を示す。このように、物体の代表的な幾何学的特徴を優先的に検出するとともに、代表的特徴以外の幾何学的特徴を補助的特徴として検出することで物体の二次元形状を抽出することが好ましい。検出した長辺対と短辺対の組み合わせにより形成される矩形を認識候補とし、それぞれの矩形の中心点および4つのコーナ一点を求める。左右画像上において認識された矩形の中心点の分布を図7(A)および7(B)に示す。本実施例のように同じ形状の部品が視野の中に多数重なって存在している場合、二次元特徴の認識候補には多くの誤認識が含まれている。したがって、物体の正確な認識結果を得るためには、以下に述べるように認識候補の各々についてその信頼度を評価する必要がある。

尚、ステップ101A、101Bの別の具体例として、以下の手法に基づいて部品の二次元特徴を検出することも好ましい。図8に示すように、部品の代

(11)

WO00/57129

表的特徴である長辺対 5 1 a, 5 1 b をハフ変換により検出する。検出された長辺対 5 1 a, 5 1 b に囲まれた領域に対して、ハフ変換により第 1 短辺対 5 2 a, 5 2 b 及び第 2 短辺対 5 3 a, 5 3 b をそれぞれ検出する。長辺対 5 1 a, 5 1 b と第 1 短辺対 5 2 a, 5 2 b との組み合わせにより得られる矩形を第 1 認識候補とすると共に、長辺対 5 1 a, 5 1 b と第 2 短辺対 5 3 a, 5 3 b との組み合わせにより得られる矩形を第 2 認識候補として検出する。図 8 においては、短辺に関して複数の直線対を検出したが、上記と同様にして長辺に関して複数の直線対を検出しても良い。このように、複数の認識候補を検出する場合は、ノイズや入力画像の変形の影響をより低減することができる。

検出すべき二次元特徴は、上記した長辺対および短辺対に限定されない。認識されるべき物体の形状に応じて、例えば、円、円弧、直線、直線対、直線対の長さ、直線対の方向、平行直線対間の距離等を二次元特徴として使用することができる。また、左右画像を撮像するために白黒 TV カメラを使用する場合、得られた濃淡画像の各々に微分処理を施してエッジと濃度勾配の方向を求め、ハフ変換により直線および直線対、あるいは円および円弧を検出することによって物体の代表的二次元特徴あるいは補助的二次元特徴を得ることができる。また、カラー TV カメラを使用する場合は、物体の代表色に対応する画像領域を代表的二次元特徴あるいは補助的二次元特徴として使用することができる。

3 次元物体の局所的な特徴である二次元特徴は、撮像方向や照明の変化に対して安定であることが好ましい。例えば、図 9 に示すように、ピラミッド画像を使って二次元特徴を適切に選択することができる。最初に粗い分解能の画像（原画像）からハフ変換により概略の特徴、例えば、長辺対の位置を検出する。次に、計測精度と検出する特徴の寸法および画像分解能との関係により、物体の他の特徴、例えば、短辺対を適切な分解能の画像上で抽出する。これにより、物体の矩形形状を安定して認識することができる。図中、4 5 は原画像上での物体の二次元特徴を示す像、4 6 は $1/n_1$ 画像上での二次元特徴を示す像、4 7 は $1/n_2$ 画像上での二次元特徴を示す像、4 8 は $1/n_3$ 画像上での二次元特徴を示す像である。

<ステップ 1 0 2 A、1 0 2 B>

(12)

WO00/57129

次に、ステップ102A、102Bにおいて、部品の既知のモデルデータとの比較によってステップ101A、101Bから提供される二次元特徴に関する情報の信頼度を評価する。信頼度の評価は、認識されるべき物体の形状に応じて選択される幾何学寸法等の情報を使用して行われる。具体的には、例えば、次式によって表される計測不確かさを用いて信頼度を評価することができる。

$$f_l = |L_m - L_r| \quad \dots (1)$$

ここで、“ f_l ”は二次元特徴の信頼度評価値であり、“ L_r ”は画像から検出される物体の直線の長さ（計測値）であり、“ L_m ”は実際の物体の対応する直線の長さである。信頼度評価値“ f_l ”が所定の閾値より大きい場合、検出された二次元特徴は誤認識として削除される。

あるいは、次式によって表される計測不確かさを用いて信頼度を評価しても良い。

$$f_v = |\theta_m - \theta_r| \quad \dots (2)$$

ここで、“ f_v ”は二次元特徴の信頼度評価値であり、“ θ_r ”は画像から検出される物体の矩形を構成する第1平行直線対と第2平行直線対のなす角度（計測値）であり、“ θ_m ”は実際の物体における第1平行直線対と第2平行直線対のなす角度である。信頼度評価値“ f_v ”が所定の閾値より大きい場合、検出された二次元特徴は誤認識として削除される。

さらに、次式によって表される計測不確かさを用いて信頼度を評価しても良い。

$$f_d = |D_m - D_r| \quad \dots (3)$$

ここで、“ f_d ”は二次元特徴の信頼度評価値であり、“ D_r ”は画像から検出される物体の平行直線対間の距離（計測値）であり、“ D_m ”は実際の物体の対応する平行直線対間の距離である。信頼度評価値“ f_d ”が所定の閾値より大きい場合、検出された二次元特徴は誤認識として削除される。

また、式(2)と式(3)とを使用して得られる以下の式により総合信頼度を評価しても良い。

$$f_\sigma = |\theta_m - \theta_r| + |D_m - D_r| \quad \dots (4)$$

ここで、“ f_σ ”は二次元特徴の総合信頼度の評価値である。

(13)

WO 00 / 5 7 1 2 9

このように、左右画像の各々において検出された二次元特徴を実際の物体の二次元特徴と比較して、それらの間の差異が所定の閾値を超える場合には誤認識として検出された二次元特徴を削除することが好ましい。この場合、ステップ(101A, 101B)から提供される情報に含まれる誤認識が、ステレオ計測原理を用いて左右画像間における物体の二次元特徴の対応付けを行うステップ103の直前に削除されるので、誤認識情報の対応付け処理の実施を避けることができ、結果的に3次元認識方法全体の処理効率を改善することができる。尚、上記の信頼度評価において、異なる重み付け係数を有する複数の信頼度評価区間を設定して、求めた信頼度評価値が含まれる評価区間の重み付け係数でもって信頼度を評価しても良い。

<ステップ103>

ステップ103では、ステレオ計測原理に基づいてステップ102A, 102Bから提供される物体の二次元特徴の左右画像間における対応付けを行う。本実施例においては、部品30が線特徴を有するので、その対応付けを線分特徴ベースのステレオ計測原理に基づいて行う。図10は、このステレオ計測原理の説明図である。図10の左右画像の線分特徴 L_l 、 L_r に対して、これらの両方の線分を通る二本のエピポーラ線 E_1 、 E_2 を設定する。エピポーラ線は、左右のカメラのレンズ中心と被測定点により作られる平面と各カメラの撮像面とのなす交線である。エピポーラ線 E_1 と左右の線分特徴 L_l 、 L_r との交点 P_{l1} 、 P_{r1} より視差が求まるので、次式により物体の辺 L 上の点 P_1 とカメラレンズとの間の距離、すなわち画像上の点 P_1 の3次元空間における高さ座標を求めることができる。

$$Z = (F \times B) / D \quad \dots (5)$$

ここで、 F はカメラの焦点距離であり、 B はカメラ間距離であり、 D は視差である。このようにして、物体の辺 L 上の点 P_1 の三次元位置座標が求まる。同様に、エピポーラ線 E_2 と左右の線分特徴 L_l および L_r との交点 P_{l2} 、 P_{r2} より視差が求まるので、上式より物体の辺 L 上の点 P_2 の3次元空間における高さ座標を求めることができる。このようにして、物体の辺 L 上の点 P_2 の三次元位置座標が求まる。点 P_1 、 P_2 の三次元位置座標から3次元空間中の直線 L の位

(14)

WO00/57129

置と姿勢が求まる。このように、ステップ103は、左画像において物体を構成するある二次元特徴（直線等）を右画像の対応する二次元特徴と対応付けすることにより、その二次元特徴の3次元空間における位置と姿勢を求めることを目的とするものである。

物体の二次元特徴を左右画像間で対応付けするには、例えば、(a) 左右画像間における直線および直線対の中心軸の平行を利用する方法、(b) 左右画像間における直線および直線対の長さの差を利用する方法、(c) 左右画像間における物体の全体形状の差を利用する方法、(d) 左右画像間における直線および直線対の中心軸の方向の差を利用する方法等がある。方法(b)としては、(b1) ハフ変換による直線検出の際に直線に寄与するエッジ点の数を直線長さとして求める方法や、(b2) エッジ追跡により得られた直線の両端間の距離を直線長さとして求める方法を採用することができる。また、方法(d)としては、(d1) エッジ追跡により得られた直線の始点と終点によって定義される方向を直線方向として求める方法や、(d2) ハフ変換による直線検出の際に直線を表すパラメータ θ を直線方向として求める方法、あるいは(d3) ハフ変換による直線検出の際に直線に寄与したエッジの勾配方向の平均値を直線方向として求める方法等を採用することができる。

<ステップ104>

ステップ104では、ステップ103から提供される二次元特徴の対応付け結果の信頼度を評価する。対応付けの信頼度を評価するためには、対象物体の有する居所的な特徴、例えば、直線長さ、物体の矩形を構成する第1平行直線対と第2平行直線対のなす角度、および／あるいは平行直線対間の距離等を使用することができる。直線長さを採用する場合、対応付けの信頼度は次式に基づいて評価される。

$$F1 = |L1 - Lr| \quad \dots (6)$$

ここで、“F1”は左右画像間における対応付けの信頼度評価値であり、“Lr”は右画像において検出された直線の長さであり、“L1”は左画像において検出された対応する直線の長さである。信頼度評価値“F1”が所定の閾値より大きい場合、提供された対応付けは誤対応として削除される。

(15)

WO00/57129

また、2つの平行直線対のなす角度を採用する場合、対応付けの信頼度は次式に基づいて評価される。

$$F_{\theta} = |\theta_l - \theta_r| \quad \dots (7)$$

ここで、“ F_{θ} ”は左右画像間における対応付けの信頼度評価値であり、“ θ_r ”は右画像において検出された2つの平行直線対のなす角度であり、“ θ_l ”は左画像において検出された対応する2つの平行直線対のなす角度である。信頼度評価値“ F_{θ} ”が所定の閾値より大きい場合、得られた対応付けは誤対応として削除される。

さらに、平行直線対間の距離を採用する場合、対応付けの信頼度は次式に基づいて評価される。

$$F_d = |D_l - D_r| \quad \dots (8)$$

ここで、“ F_d ”は左右画像間における対応付けの信頼度評価値であり、“ D_r ”は右画像において検出された平行直線対間の距離であり、“ D_l ”は左画像において検出された対応する平行直線対間の距離である。信頼度評価値“ F_d ”が所定の閾値より大きい場合、得られた対応付けは誤対応として削除される。

このように、左画像において検出された二次元特徴を右画像において検出された対応する二次元特徴と比較し、それらの間の差異が所定の閾値を超える場合には検出された二次元特徴を誤対応として削除することが好ましい。この場合、ステップ103から提供される情報に含まれる誤対応が、部品の三次元位置・姿勢の認識を行う次のステップ105の直前に削除されるので、誤対応情報に基づいて物体の三次元位置・姿勢を認識する処理の実施を避けることができ、結果的に3次元認識方法全体の処理効率を改善することができる。尚、上記の信頼度評価において、異なる重み付け係数を有する複数の信頼度評価区間を設定して、求めた信頼度評価値が含まれる評価区間の重み付け係数でもって対応付けの信頼度を評価しても良い。

本実施例においては、長辺対と短辺対の方向と長さを用いて対応付けの信頼度を評価し、誤対応を削除している。尚、正確な認識結果を得るために、本実施例のように、ステップ(102A, 102B)とステップ104の両方を実施することが好ましいが、ステップ(102A, 102B)で信頼度評価を実施し

(16)

WO00/57129

た場合は、ステップ104の信頼度評価を省略しても良い。また、ステップ104の信頼度評価を実施する場合はステップ102A、102Bを省略しても良い。

<ステップ105>

ステップ105では、ステップ104から提供される物体の二次元特徴の3次元情報に基づいて物体の3次元位置・姿勢を認識する。例えば、物体の3次元位置・姿勢を認識するために、(A)物体上の任意の3点から構成された三角形の中心位置と、この三角形の平面の法線方向をそれぞれ物体の位置と姿勢として計測する方法や、(B)物体上の4点以上から求められた複数の3次元平面の法線方向の平均値と、4点以上の位置を組み合わせた平均の3次元位置をそれぞれ物体の姿勢と位置として計測する方法、あるいは(C)物体上の任意の異なる方向の2組の平行線から得られた平面の法線方向の平均値と、平行直線間の4つの交差点の平均位置をそれぞれ物体の姿勢と位置として計測する方法等がある。また、平面の法線方向を求める方法としては、任意の3点の3次元座標値から最小自乗法で平面の法線方向を求める方法や、任意の4点の三次元座標値を用いてMatrin Newell法で平面方程式を求めて、平面の法線方向を求める方法等を使用することができる。

ステップ105の具体例を以下に説明する。まず、物体を代表する点の位置と物体の姿勢を定義する。具体的には、図3の部品の短辺対32から構成される平面の法線方向を物体の姿勢とし、長辺対31の短辺対平面上に投影した直線対と短辺対32から構成される矩形の中心を物体を代表する点として定義する。次に、代表点の位置と姿勢を得るために必要な物体の構成要素の3次元情報を求める。具体的には、図3の部品について、短辺対32、長辺対31、短辺対平面および長辺対31を短辺対平面上に投影して得られる直線対の三次元情報をそれぞれ求める。次に、構成要素の三次元情報から物体の代表点の三次元位置座標を求めて物体の位置とする。具体的には、短辺対32と長辺対31を短辺対平面に投影して得られる直線対とで形成される矩形の4つの交点 $P_i (X_i, Y_i, Z_i)$ ($i=1\sim4$)を求め、これらの座標値を次式に代入して物体の代表点の3次元位置座標(X_c, Y_c, Z_c)を求める。

(17)

WO00/57129

$$X_c = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4) / 4 \quad \dots (9)$$

$$Y_c = (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4) / 4 \quad \dots (10)$$

$$Z_c = (Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4) / 4 \quad \dots (11)$$

また、構成要素の三次元情報から物体の姿勢を求める。すなわち、以下の式(12)に基づいて最小自乗法あるいはMatrin Newell法を用いて短辺対平面 $aX + bY + Z + d = 0$ に対する法線方向 $(a, b, 1)$ のパラメータを求め、物体の姿勢とする。

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ d \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^4 X_i^2 & \sum_{i=1}^4 X_i Y_i & \sum_{i=1}^4 X_i \\ \sum_{i=1}^4 X_i Y_i & \sum_{i=1}^4 Y_i^2 & \sum_{i=1}^4 Y_i \\ \sum_{i=1}^4 X_i & \sum_{i=1}^4 Y_i & 4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} - \sum_{i=1}^4 X_i Z_i \\ - \sum_{i=1}^4 Y_i Z_i \\ - \sum_{i=1}^4 Z_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sum_{i,j=1 \atop i \neq j}^4 (Y_i - Y_j)(Z_i + Z_j)}{\sum_{i,j=1 \atop i \neq j}^4 (X_i - X_j)(Y_i + Y_j)} \\ \frac{\sum_{i,j=1 \atop i \neq j}^4 (Z_i - Z_j)(X_i + X_j)}{\sum_{i,j=1 \atop i \neq j}^4 (X_i - X_j)(Y_i + Y_j)} \\ 1 \end{bmatrix}$$

...(12)

(18)

WO00/57129

尚、物体を代表する複数の点の三次元座標の平均値を物体の位置として求めるとともに、物体を代表する複数の平面の法線方向の平均を物体の姿勢として求めても良い。

ステップ105において物体の表裏を以下のようにして認識することも好ましい。具体的には、物体に属する所定の構成要素、例えば、図3の部品30の長辺対31の平面と短辺対32の平面をそれぞれを求める。次いで、構成要素間の三次元空間における相対位置関係から物体の三次元向きを認識する。例えば、図3の例では長辺対31の平面と短辺対32の平面の世界座標Oxyz系における相対的な位置関係により、部品30の表向きと裏向きを識別して物体の三次元姿勢を認識する。この例では、長辺対31の平面が短辺対32の平面より上側に位置しているので裏向きと認識する。このように、物体の構成要素の三次元情報を利用して物体の表裏を認識することにより三次元物体認識の精度をさらに向上することができる。

また、物体の所定領域に設けた模様や色に基づいて物体の三次元姿勢を認識することも好ましい。例えば、部品上に描かれた所定の模様に基づいて物体の表裏を認識する場合は、物体の左右画像における所定の二次元領域を決定し、次いでその領域に文字列のような模様が存在するかどうかを識別する。図11の場合は、「ABCD」なる文字列35を部品30Aの裏面にのみ設けてあるので、模様の存在の有無を識別することにより部品30Aの表裏を認識することができる。また、部品上に設けられた所定の色領域に基づいて物体の表裏を認識する場合は、カラーTVカメラを使用して図12に示すような部品30B上に設けた着色領域36を識別することにより部品の表裏を認識することができる。

<ステップ106>

ステップ106では、ステップ105から提供される物体の3次元位置・姿勢の認識結果の計測信頼度を評価する。すなわち、物体の計測された三次元情報を物体の既知の三次元特徴（すなわち、モデルデータ）と比較し、それらの間の差に基づいて認識された三次元位置・姿勢に信頼度のランクを付ける。ここで、計測値と比較される物体の既知の三次元特徴としては、例えば、物体の三次元直線間の距離、物体の三次元平面間の距離、三次元平面の法線方向間に定義され

(19)

WO00/57129

る角度、複数の位置で計測した物体の三次元平面間の距離のばらつき、計測された三次元直線上での各点の直線に対するばらつき、計測された三次元平面上での各点の平面に対するばらつき等を用いることができる。

また、物体の幾何学的特徴に関する少なくとも2つの評価因子を含む信頼度評価式を使用して計測信頼度を評価することも好ましい。この場合、評価因子の各々は、その評価因子の重要度に応じて重み付けされる。例えば、図3の部品の場合、以下の式(12)、(13)に基づいて3次元位置・姿勢の認識結果の信頼度を評価することが好ましい。すなわち、ステップ103において対応付けされた矩形の線分要素を用いて以下の式より二次元総合信頼度を評価し、一定の信頼度を満たすステレオペアのみをラインセグメントベースで3次元復元する。

$$U_{2d} = w1 \text{ (短辺の二次元平行度)} + w2 \text{ (短辺間二次元距離の一致度)} + w3 \text{ (短辺平面と長辺平面の一致度)} + w4 \text{ (長辺の二次元平行度)} + w5 \text{ (長辺間二次元距離の一致度)} + w6 \text{ (短辺平面と長辺平面間距離)} \quad \dots (13)$$

ここで、“ U_{2d} ”は二次元総合信頼度の評価値であり、 W_i ($i=1\sim6$)は、重み付け係数である。評価項目の重み付け係数は、各評価項目の重要性和計測値の安定性に基づいて決定される。例えば、距離に関する計測値は比較的精度良く検出されるので、距離の重み付け係数 $w2$ 、 $w5$ および $w6$ を他の係数よりも大きく設定することが好ましい。尚、異なる重み付け係数を有する複数の信頼度評価区間を設定して、求めた評価値“ U_{2d} ”が含まれる評価区間の重み付け係数でもってその信頼度を評価しても良い。

次に、復元された物体の3次元空間中での各辺・平面および各平面間について、計測値とモデルデータとの整合性を調べ、以下の式により三次元総合信頼度を求める。

$$U_{3d} = w1 \text{ (短辺の平行度)} + w2 \text{ (短辺間距離の一致度)} + w3 \text{ (短辺平面の平面度)} + w4 \text{ (長辺の平行度)} + w5 \text{ (長辺間距離の一致度)} + w6 \text{ (長辺平面の平面度)} + w7 \text{ (短辺平面と長辺平面間の距離一致度)} + w8 \text{ (短辺平面と長辺平面の平行度)} + w9 \text{ (短辺と長辺平面の法線の一致度)} + w10 \text{ (短辺軸と長辺軸の整合度)} \quad \dots (14)$$

ここで、“ U_{3d} ”は三次元総合信頼度の評価値であり、 W_i ($i=1\sim10$)

は、重み付け係数である。評価項目の重み付け係数は、各評価項目の重要性和計測値の安定性に基づいて決定される。

<ステップ107>

ステップ107では、ステップ106から提供される物体の三次元位置・姿勢の認識結果を使用にしてロボットアームによってピックアップされるべき物体が決定される。本実施例においては、最もピックアップしやすい物体を決定するにあたり、その判定条件を「物体が高い位置にあること」および「得られた3次元位置・姿勢の認識結果の信頼度が高いこと」とし、これらの両方を最もよく満たすものが最もピックアップしやすい物体として決定される。最終結果の一例を表1および図13(A)および13(B)に示す。表1に、図13(A)および図13(B)中の番号#1~#4によって示される各部品に関して、ピックアップテーブルから部品の中心点までの高さ(Z)と信頼度(C)を示す。

表1

No	物体の中心高さ(Z)	信頼度(C)
#1	22.5	5155
#2	13.8	1052
#3	13.0	1079
#4	9.4	4079

信頼度(C)は、値が小さいほど信頼性が高いことを意味する。部品#1は中心点が最も高い位置にあるが信頼度は低い。一方、部品#2は、中心点が2番目に高い位置にあるとともに最も高い信頼度を有する。したがって、この例では部品#2が最もピックアップしやすい部品として選択される。部品#1の信頼度が低いのは姿勢が大きく傾いているためである。

<ステップ108~110>

ピックアップされるべき部品が決定されると、その部品の座標データがロボットコントローラーに送信される(ステップ108)。ロボットコントローラーは、ロボットアームがピンから選択された物体(上の例では#2)をピックアップし、所定の場所に搬送するようにロボットを制御する(ステップ109)。次に、部品をすべて取り終わったかどうか判定され(ステップ110)、YESの場合は作業を終了し、NOの場合は上記した操作を繰り返す。

(21)

WO 00/57129

尚、ステップ105において認識された物体の三次元位置・姿勢に基づき、左右画像上での物体の二次元特徴を予測するステップと、予測した二次元特徴とステップ(101A, 101B)において検出した物体の二次元特徴との間の整合性を評価するステップとを含む構成を採用することも好ましい。具体的には、ステップ105で得られる物体の三次元情報とカメラの投影モデルに基づき、左右画像上における二次元特徴を予測する。予測した二次元特徴をステップ(101A, 101B)で検出した二次元特徴と比較し、ステップ(101A, 101B)で検出した二次元特徴の結果を評価する。このようにして、得られた三次元情報を二次元特徴の評価処理にフィードバックすることでより正確な二次元特徴の評価を行うことができ、結果的に物体の三次元位置・姿勢の認識精度の向上を図ることができる。

上記したように、本発明よれば、物体の三次元立体視を形成可能な一对のステレオ画像から3次元物体位置・姿勢を認識する方法の早い段階から計測結果の信頼度を適切に評価することによって、不正確な情報を早期に排除し、信頼度の高い情報のみについて以後の処理を行うようにした結果、同一形状の複数の部品が山積みされたような複雑な状況においても、物体の三次元位置・姿勢を高速かつ高精度に認識することが可能となる。

[第2実施例]

図14に示すように、第2実施例のピンビッキングシステムは、TVカメラ(1A, 1B)に加えて第3カメラ1Cが使用されること、および第3カメラ1C用のA/D変換部20Cを含む画像処理装置により図15に示す三次元物体認識方法を実施可能であることを除いて実質的に実施例1のピンビッキングシステムと同じ構成を有する。

本実施例の三次元物体認識方法は、左画像の撮像ステップ200A、左画像における物体の二次元特徴の検出ステップ201A、およびその二次元特徴の信頼度評価ステップ202A、および右画像の撮像ステップ200B、右画像における物体の二次元特徴の検出ステップ201B、およびその二次元特徴の信頼度評価ステップ202Bを実施例1と同様に実施するとともに、第3画像の撮像ステップ200C、第3画像における物体の二次元特徴の検出ステップ201C

、およびその二次元特徴の信頼度評価ステップ202Cを左右画像の場合と同様の手法で実施する。

次に、左画像と右画像間における二次元特徴の対応付けステップ(203)、対応付けの信頼度評価ステップ(204)、物体の三次元位置・姿勢の認識ステップ(205)、およびその三次元位置・姿勢の認識結果の信頼度評価ステップ(206)を実施例1と同様に実施する。これとは独立に、左画像と第3画像間における二次元特徴の対応付けステップ(203')、対応付けの信頼度評価ステップ(204')、物体の三次元位置・姿勢の認識ステップ(205')、およびその三次元位置・姿勢の認識結果の信頼度評価ステップ(206')を上記の場合と同様の手法で実施する。ステップ206から提供される三次元位置・姿勢の情報とステップ206'から提供される物体の三次元位置・姿勢の情報がステップ207において統合される。ステップ207以降のステップは、実施例1と基本的に同じであるので省略する。

本実施例のシステムは、システム全体の構成が若干複雑化するけれども、物体のあらゆる姿勢に対して等しい計測精度で三次元位置・姿勢の認識を行える点で好ましい。尚、必要に応じて、右画像、左画像および第3画像とは異なる視点から物体を撮像する追加カメラを配置し、それから得られる画像情報を使用した認識処理ステップを増設することにより本発明の三次元物体認識方法を実施することも原理的に可能である。カメラの台数を増やす場合は、実用的なシステムを構築するために認識処理の高速化が重要な課題となるので、並列分散処理を用いたアーキテクチャーを用いることが好ましい。

尚、ステップ204と205との間およびステップ204'と205'との間において、物体の色に基づく信頼度評価を行っても良い。具体的には、物体の計測された矩形表面の色と実際の物体の対応する矩形表面の色とのずれ量を計算し、このずれ量を信頼度評価に使用するのである。例えば、正規化された色のベクトルの内積を求める。物体の計測された矩形表面の正規化された色ベクトルを $C(R, G, B)$ とし、実際の物体の対応する矩形表面の正規化された色ベクトルを $C_m(R_m, G_m, B_m)$ とすると、信頼度評価値 f_c は以下の式より求めることができる。

(23)

WO 00 / 5 7 1 2 9

$$f_c = C_m \cdot C = R_m \cdot R + G_m \cdot G + B_m \cdot B \quad \dots (15)$$

また、上記した色の代りに模様に基づく信頼度評価を行っても良い。具体的には、物体の計測された矩形表面上の模様と実際の物体の対応する矩形表面上の模様とのずれ量を計算し、このずれ量を信頼度評価に使用するのである。例えば、表面の明るさの分散を使用することが好ましい。物体の計測された矩形表面の明るさを I とし、実際の物体の対応する矩形表面の明るさ分布を I_m とし、分散を $Var()$ で表すと、信頼度評価値 f_p は以下の式より求めることができる。

$$f_p = 1 / (1 + |1 + Var(I_m) - Var(I)|) \quad \dots (16)$$

このように、色や模様に基づく信頼度の評価を追加して行うことにより、認識精度をさらに向上することができる。

【第3実施例】

上記実施例2においては、左右画像間および左画像と第3画像間における二次元特徴の対応付けを行うことによって物体の三次元位置・姿勢の認識精度を改善する場合について説明したが、本実施例では、さらに右画像と第3画像間における二次元特徴の対応付けも考慮に入れた三次元物体認識方法について述べる。

具体的には、図16に示すように、認識されるべき物体を直方体50とし、2つの平行直線対(51、52)、(53、54)を二次元特徴として使用した場合について説明する。まず、三台のカメラ1A、1B、1Cにより直方体125を撮像する。次に、3つの画像の各々において2つの平行直線対(51、52)、(53、54)を二次元特徴として抽出する。カメラ1Aによって撮像された左画像とカメラ1Bによって撮像された右画像間における第1の対応付け処理、左画像とカメラ1Cによって撮像された第3画像と間における第2の対応付け処理、さらに右画像と第3画像の間における第3の対応付け処理をそれぞれ実施する。各対応付け処理は、実施例1のステップ103と同様に行われる。次に、これらの第1～第3の対応付け処理の結果から最も高い信頼度を有する結果を以下の信頼度評価方法により決定する。

2つの平行直線対の4つの方向をそれぞれ127、128、129、13

(24)

WO00/57129

0とする。TVカメラ1Aと1Bの光学中心間を結ぶ直線の方角を124とし、TVカメラ1Bと1Cの光学中心間を結ぶ直線の方角を125、TVカメラ1Cと1Aの光学中心間を結ぶ直線の方角を126とする。まず、平行直線対51、52の方角127と128について考えると、これらの方角と2台のカメラの光学中心間を結ぶ直線とのなす角度(γ)を計算する。信頼度 $f(\gamma)$ は、この角度の関数(本説明では以下に示す三角関数の正弦)に基づいて求めることができる。すなわち、

$$\gamma < 90 \text{ の時: } f(\gamma) = \sin(\gamma) \quad \dots (17)$$

$$\gamma \geq 90 \text{ の時: } f(\gamma) = \sin(180 - \gamma) \quad \dots (18)$$

角度を計算した結果、方角127と128と方角124とのなす角度が10度、方角127と128と方角125とのなす角度が50度、方角127と128と方角126とのなす角度が70度であった。これより、線分51、52に関してはTVカメラ1Cと1A間の対応付けの信頼度が最も高いことになり、第2対応付け処理の結果が選択されることになる。また、線分53、54の方角129と130と方角124とのなす角度が80度、方角129と130と方角125とのなす角度が40度、方角129と130と方角126とのなす角度が20度であった。これより、線分53、54に関してはTVカメラ1Aと1B間の対応付けの信頼度が最も高いことになり、第1対応付け処理の結果が選択されることになる。

このように、部分特徴の各々に関して最も高い信頼度を有する対応付け処理の結果を選択的に使用して物体の三次元位置・姿勢の認識を行えるので、精度の高い認識結果を得ることができる。尚、対応付け処理の結果に基づいて物体の三次元位置・姿勢を認識するステップおよびその信頼性を評価するステップは、上記実施例と実質的に同様の手法により行えるので省略する。

[第4実施例]

本実施例は、図14に示すような3台のカメラを有するシステムを使用して物体の三次元位置・姿勢の認識を行うにあたり、右画像と左画像間の対応付けにより得られた二次元特徴を第1カメラ及び第2カメラに対して三次元位置関係が既知である第3カメラによって撮像された第3画像上に投影して、投影した二

(25)

W000/57129

次元特徴と第3画像上での対応する二次元特徴との間のずれ量を計算し、このずれ量に基づいて二次元特徴の信頼度を評価する点に特徴がある。

具体的には、まず左右画像間において一对の直線対の対応付けを行い、この結果を第3画像上に投影する。図17において、番号141と142は、直線対の投影像であり、番号143と144は第3画像145上の対応する直線対の像である。そして、直線対143、144と投影直線対141、142とのなす角度(δ)を計算する。信頼度 $f(\delta)$ は、この角度の関数(本説明では以下に示す三角関数の余弦)に基づいて求めることができる。すなわち、

$$f(\delta) = \cos(\delta) \quad \dots (19)$$

$f(\delta)$ の値が小さいほど信頼度は高いことを示しており、正しく計測された場合には、直線対143、144は投影直線対141、142と一致する。

このように、第3画像上への投影像に基づいて二次元特徴の信頼度を評価し、信頼度の高い対応付けの結果を選択的に使用して物体の三次元位置・姿勢の認識を行えるので、精度の高い認識結果を得ることができる。尚、対応付け処理の結果に基づいて物体の三次元位置・姿勢を認識するステップおよびその信頼性を評価するステップは、上記実施例と実質的に同様の手法により行えるので省略する。

【実施例5】

本実施例の三次元物体認識方法は、図18に示すように、物体の立体視を形成可能な一对の画像を撮像するための第1TVカメラペア81および82と、これとは異なる角度から物体の別の立体視を形成可能な一对の画像を撮像するための第2TVカメラペア84および85を使用して実施されることを特徴とする。

例えば、撮像された画像の各々において、面88および90を構成する二次元特徴(直交する直線)を抽出する。次いで、TVカメラ81と82とによって検出された二次元特徴の対応付けを行うと共に、TVカメラ84と85とによって検出された二次元特徴の対応付けを行う。次に、面の法線方向とTVカメラの視線方向とのなす角度(α)を求める。具体的には、面88および90の法線方向89および91と第1及び第2TVカメラペアの視線方向83および86との

(26)

WO00/57129

なす角度をそれぞれ計算する。信頼度評価値 $f(\alpha)$ は、この角度の関数（本説明では以下に示す三角関数の余弦）に基づいて求めることができる。すなわち、

$$\alpha < 90 \text{ の時: } f(\alpha) = \cos(\alpha) \quad \dots (20)$$

$$\alpha \geq 90 \text{ の時: } f(\alpha) = \cos(180 - \alpha) \quad \dots (21)$$

面 88 の法線方向 89 と第 1 および第 2 カメラペアの視線方向 83、86 とのなす角度に関しては、法線方向 89 と視線方向 83 とのなす角度が、法線方向 89 と視線方向 86 とのなす角度よりも小さいので、前者において信頼度評価値 $f(\alpha)$ が高くなり、第 1 TV カメラペアによる面 88 の測定結果が採用される。一方、面 90 の法線方向 91 と第 1 および第 2 カメラペアの視線方向 83、86 とのなす角度に関しては、法線方向 91 と視線方向 83 とのなす角度が、法線方向 91 と視線方向 86 とのなす角度よりも大きいので、後者において信頼度評価値 $f(\alpha)$ が高くなり、第 2 TV カメラペアによる面 90 の測定結果が採用される。

このように、物体を構成する面の各々についてより高い信頼度を有する計測結果を選択的に使用して物体の三次元位置・姿勢の認識を行えるので、精度の高い認識結果を得ることができる。尚、対応付け処理の結果に基づいて物体の三次元位置・姿勢を認識するステップおよびその信頼性を評価するステップは、上記実施例と実質的に同様の手法により行えるので省略する。

上記した実施例においては、本発明の三次元物体認識方法の部品供給用のピンピッキングシステムへの応用について詳細に説明した。しかしながら、本発明の方法はこの応用例に限定されるものではなく、対象物体の三次元位置および／あるいは姿勢の情報を活用するあらゆるシステムに対して応用可能性を有するものである。

【図面の簡単な説明】

図 1 は、本発明の第 1 実施例に基づく三次元物体認識方法を用いたピンピッキングシステムの概略図である。

図 2 は、本発明の第 1 実施例に基づく三次元物体認識方法を示すフローチャートである。

図 3 (A) および図 3 (B) は、TV カメラによって撮像された物体の左画像お

(27)

WO 00 / 5 7 1 2 9

よび右画像である。

図4は、本実施例のピンピッキングシステムにおいてピックアップされるべき部品の斜視図である。

図5(A)および図5(B)は、部品の二次元特徴(長辺対)を検出した左画像および右画像である。

図6は、1個の部品の長辺対および短辺対を検出した結果を示す図である。

図7(A)および図7(B)は、左右画像上において認識された矩形の中心の分布を示す図である。

図8は、部品の長辺対および複数の短辺対を検出した結果を示す図である。

図9は、ピラミッド画像を使って二次元特徴を選択する方法の概念図である。

図10は、線分特徴ベースのステレオ計測原理の説明図である。

図11は、物体認識用の模様を有する部品の斜視図である。

図12は、物体認識用の着色領域を有する部品の斜視図である。

図13(A)および図13(B)は、部品の山積み状態を斜め方向から撮影した写真(A)と同山積み状態を本システムのカメラによって撮像した画像(B)である。

図14は、本発明の第2実施例に基づく三次元物体認識方法を用いたピンピッキングシステムの概略図である。

図15は、本発明の第2実施例に基づく三次元物体認識方法を示すフローチャートである。

図16は、本発明の第3実施例に基づく三次元物体認識方法の説明図である。

図17は、本発明の第4実施例に基づく三次元物体認識方法の説明図である。

図18は、本発明の第5実施例に基づく三次元物体認識方法の説明図である。

(28)

WO 00/57129

【図1】

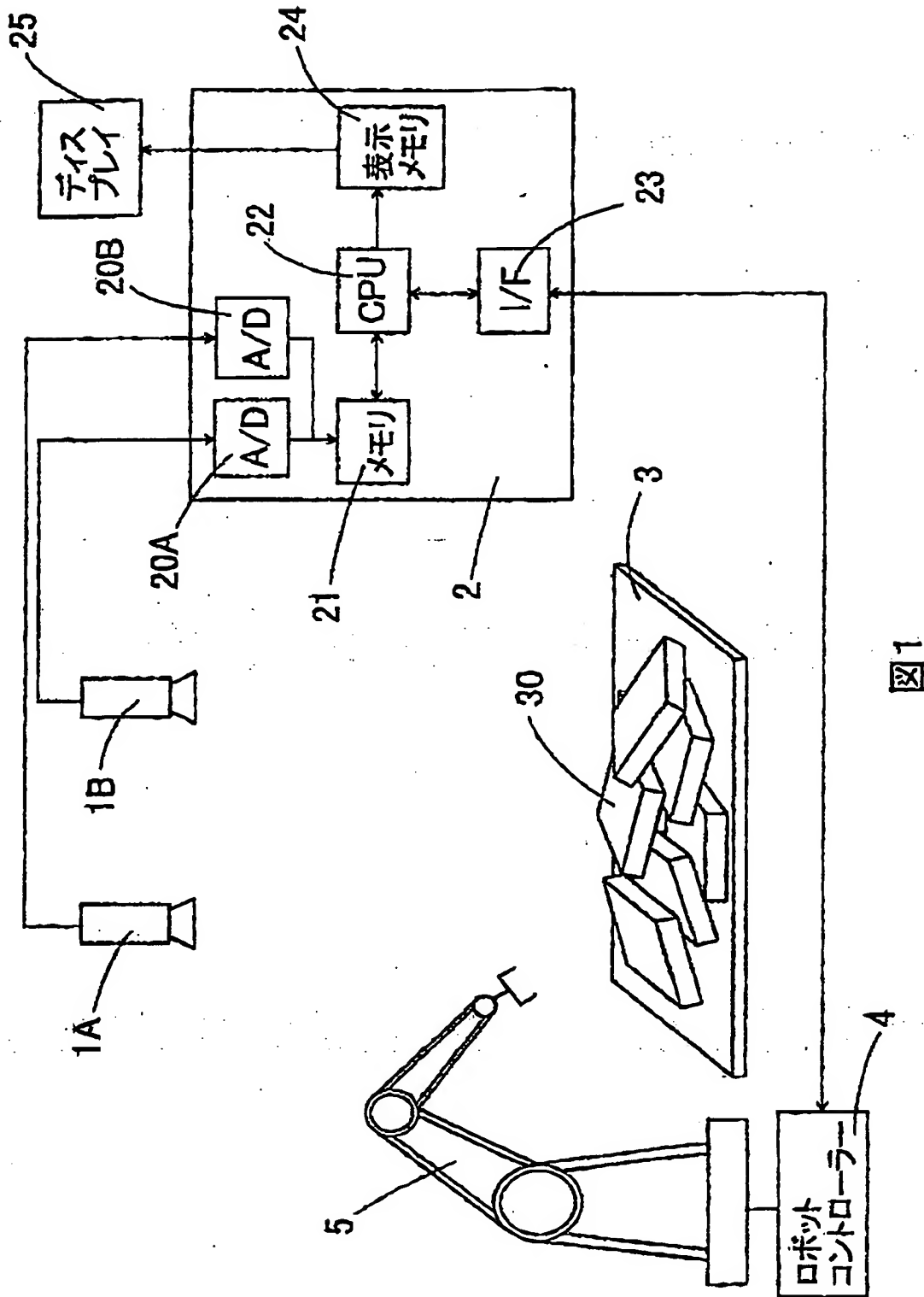
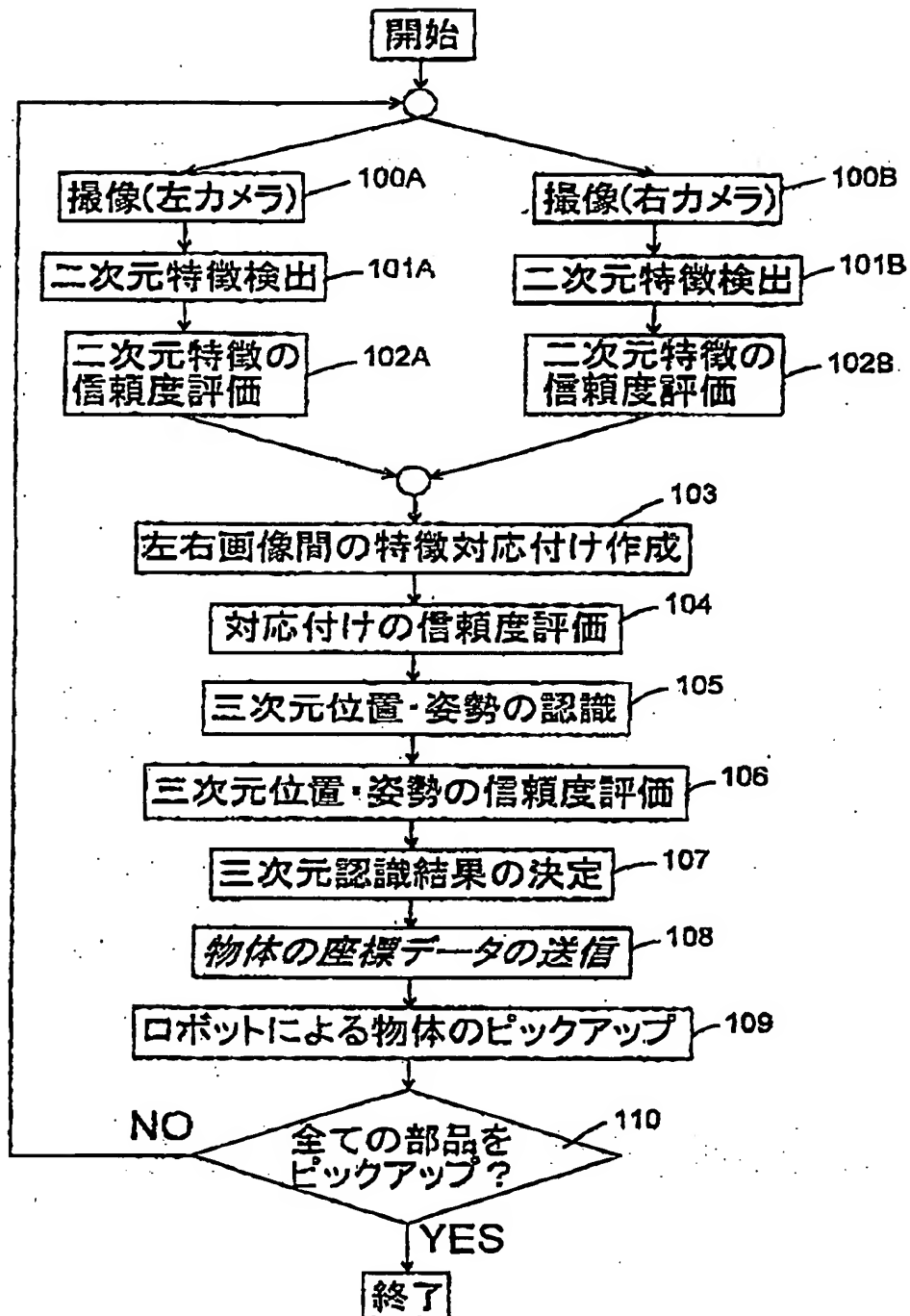


図1

(29)

WO 00/57129

【図2】



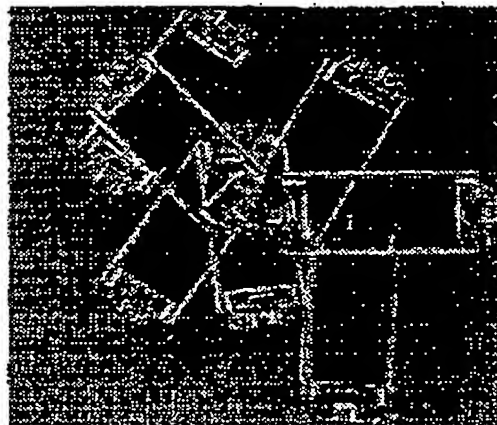
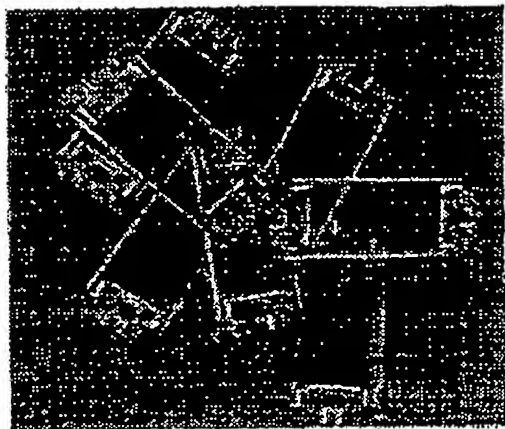
(30)

WO00/57129

【図3】

左画像

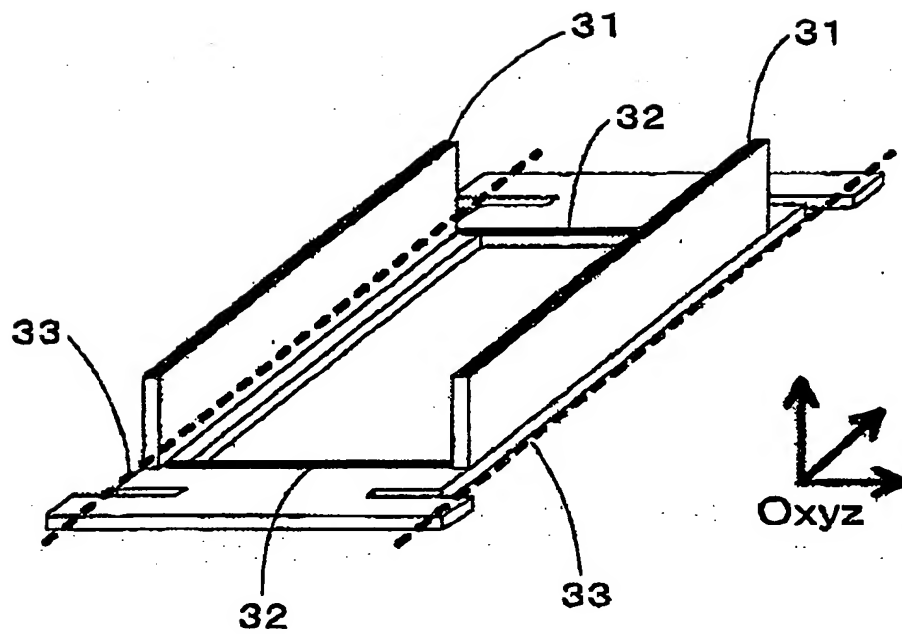
右画像



(A)

(B)

【図4】



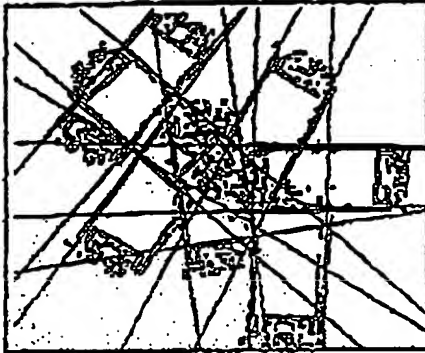
(31)

WO 00/57129

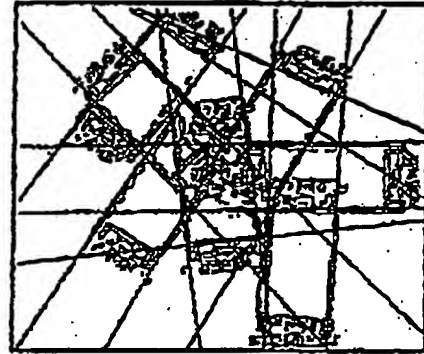
【図5】

左画像

右画像

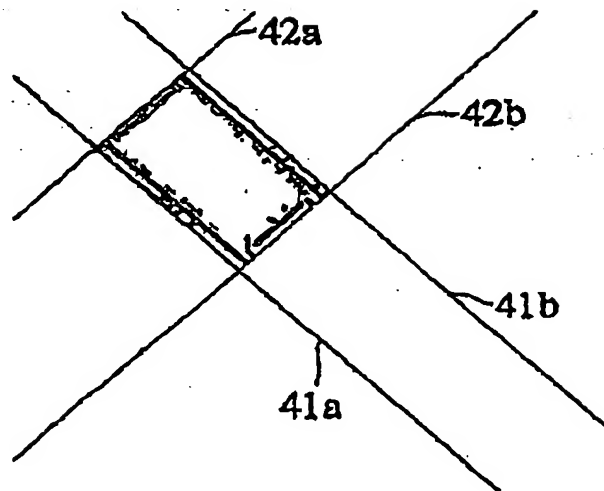


(A)



(B)

【図6】



(32)

WO00/57129

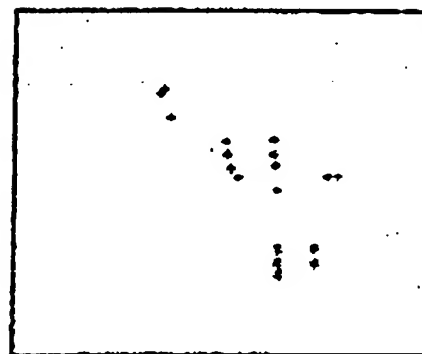
【図7】

左画像

右画像

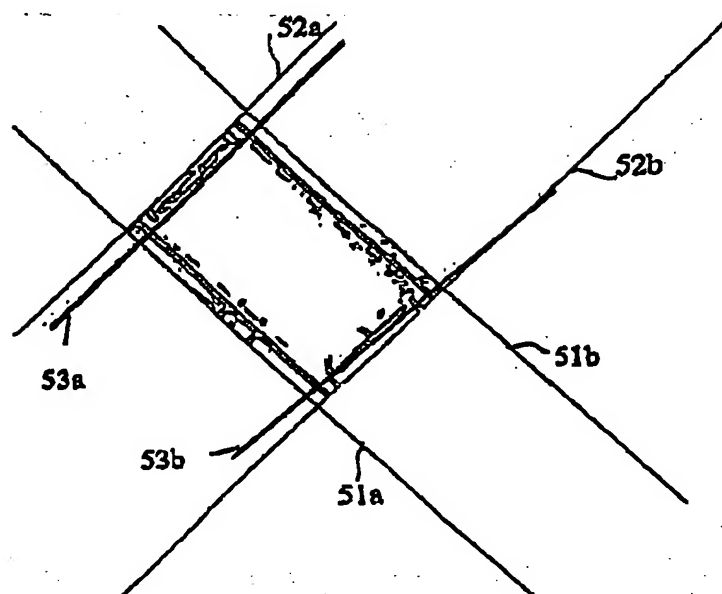


(A)



(B)

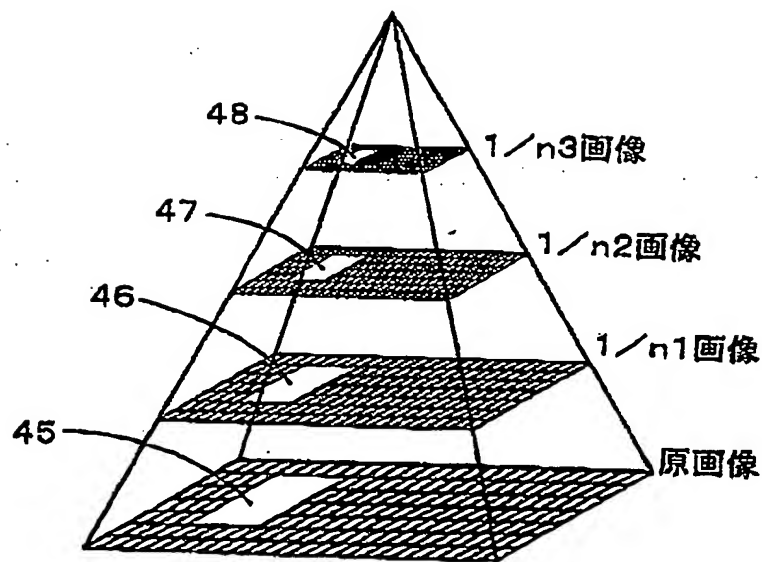
【図8】



(33)

WO 00 / 5 7 1 2 9

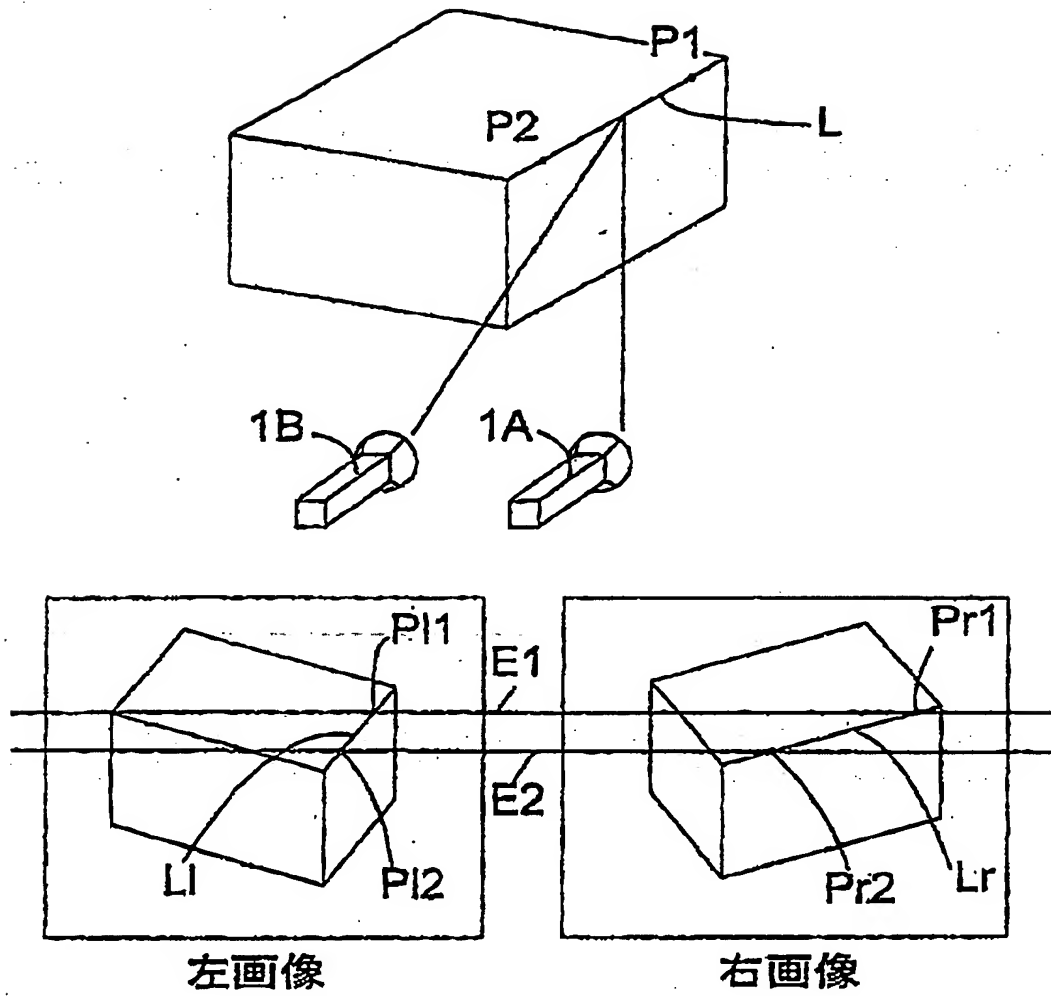
【図9】



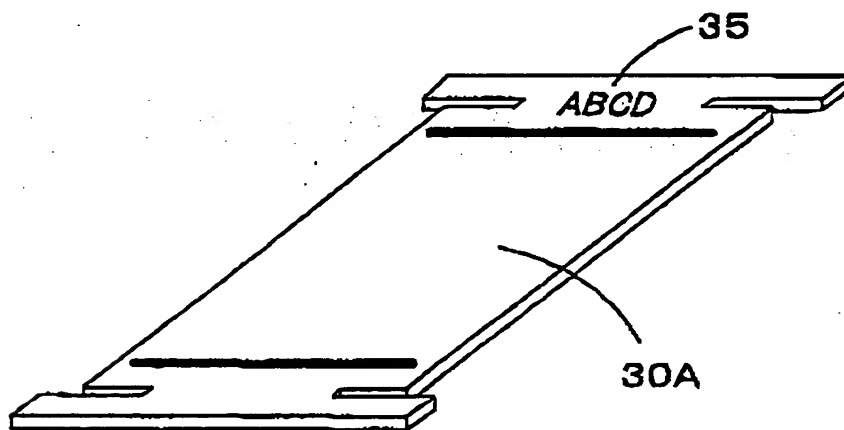
(34)

WO00/57129

【図10】



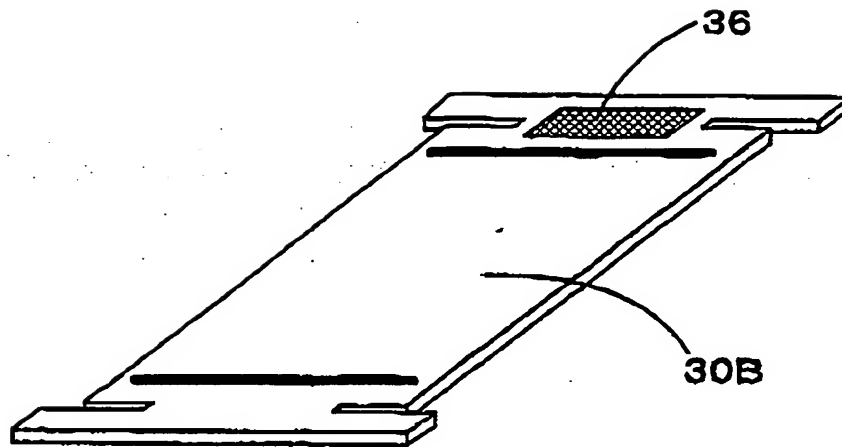
【図11】



(35)

WO00/57129

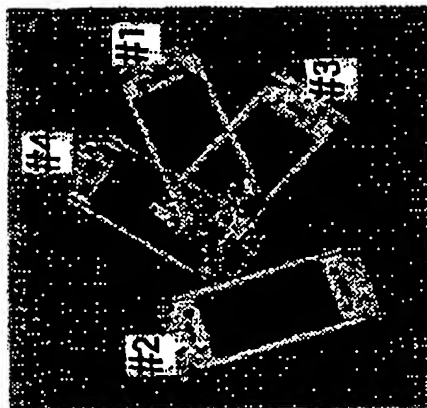
【図12】



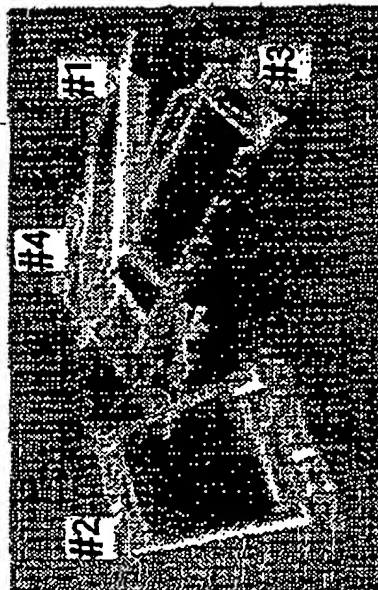
(36)

WO 00 / 5 7 1 2 9

【図 13】



(B)



(A)

図13

(37)

WO 00/57129

【図14】

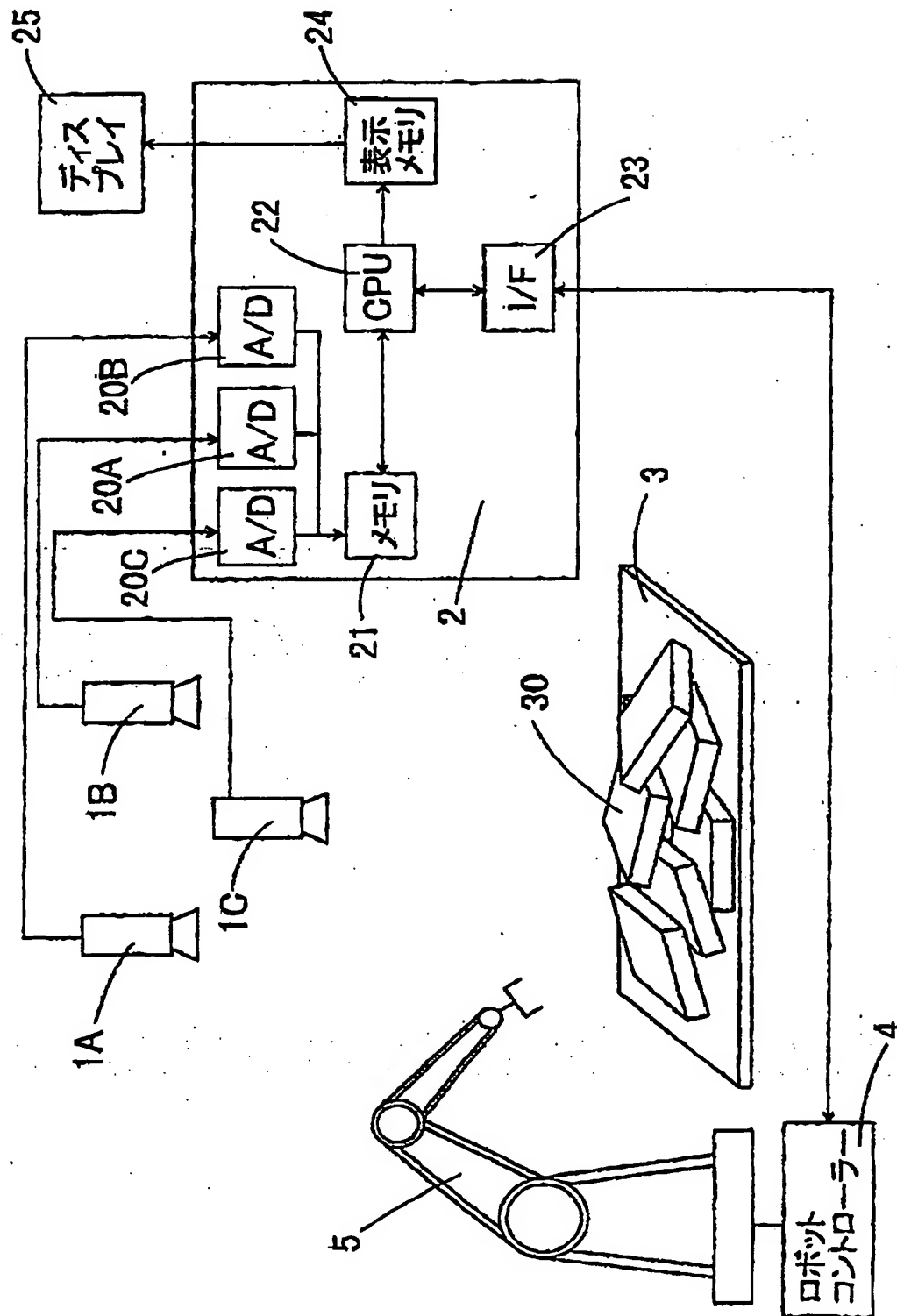
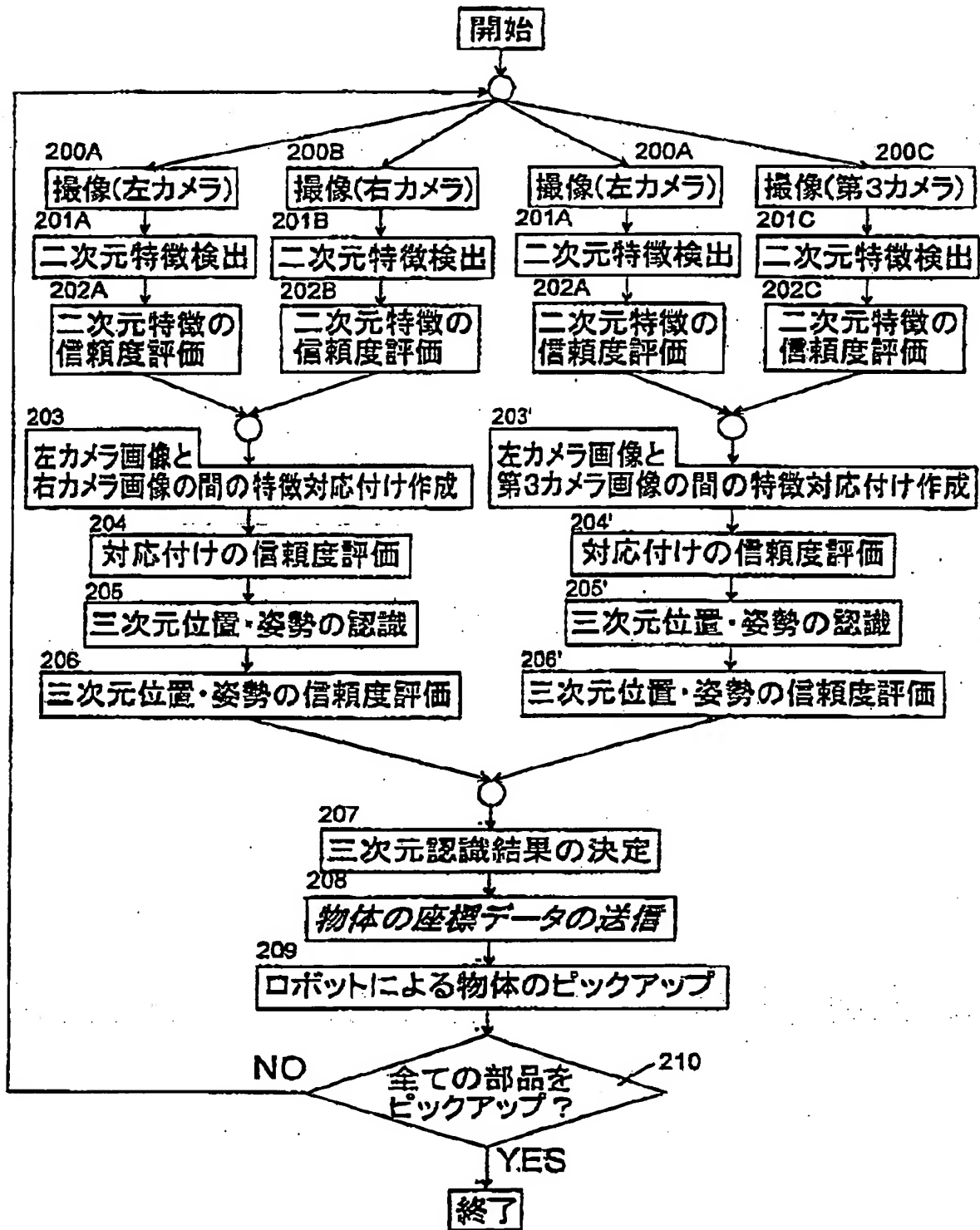


図14

(38)

WO 00 / 5 7 1 2 9

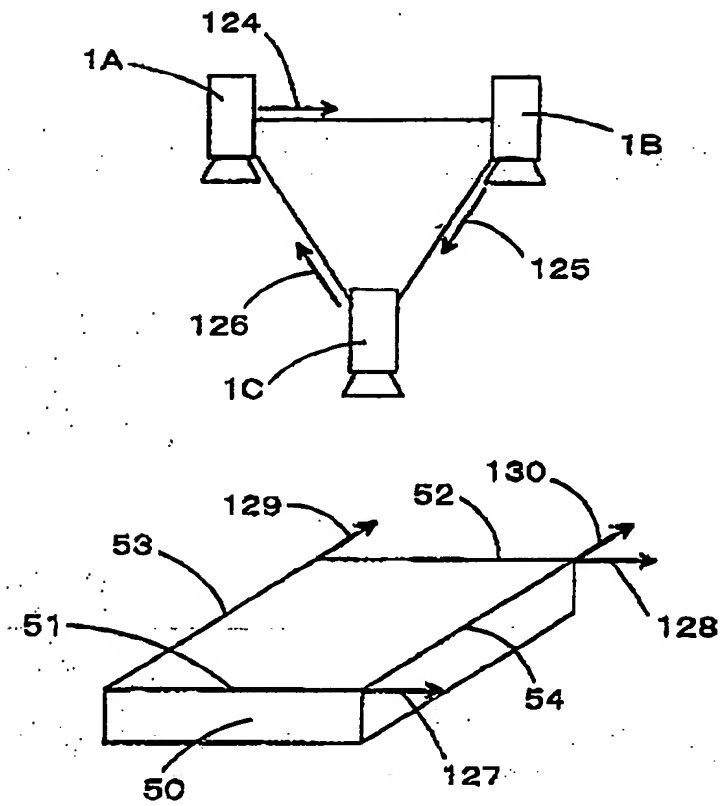
【図15】



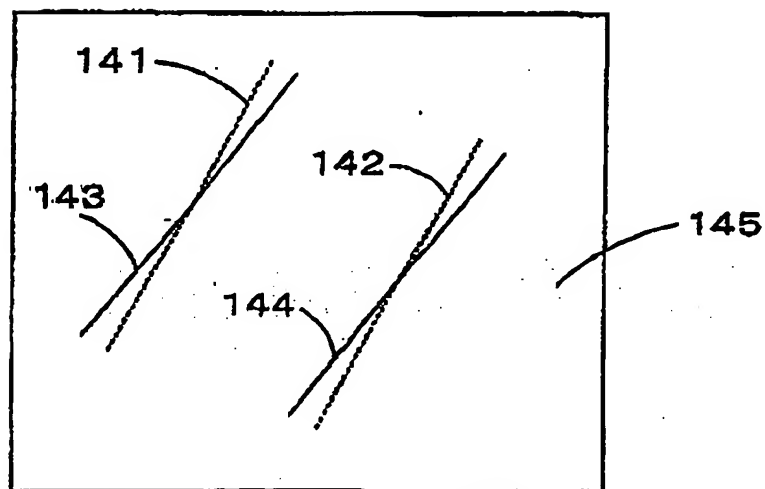
(39)

WO00/57129

【図16】



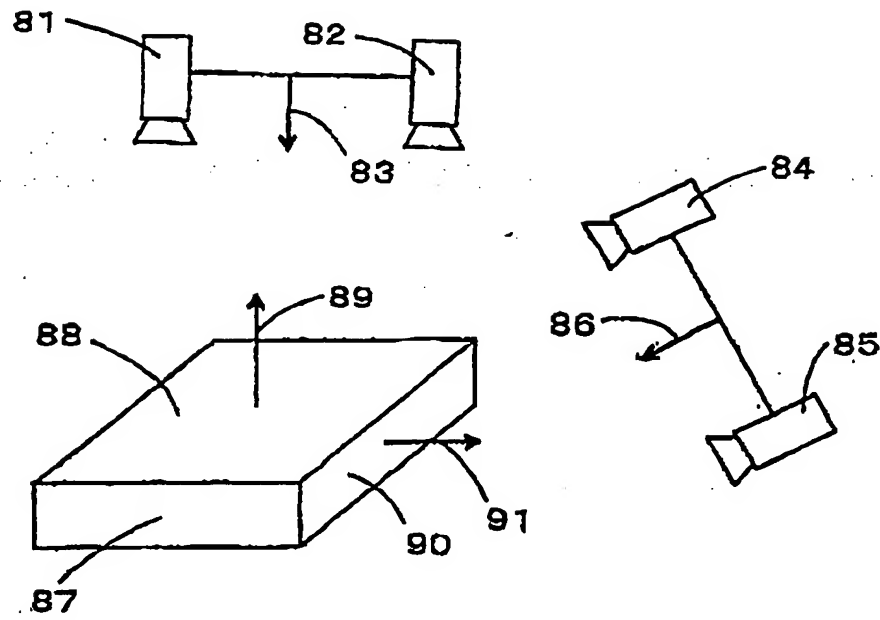
【図17】



(40)

WO00/57129

【図18】



(41)

WO00/57129

【国際調査報告】

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO0/01686
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ G01B 11/245, G08T 7/00 B65G 81/00, B25J 13/08		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl ⁷ G01B 11/245, G08T 7/00 B65G 81/00, B25J 13/08		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの		
日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公報実用新案公報 1971-2000年 日本国特許実用新案公報 1994-2000年 日本国実用新案登録公報 1996-2000年		
国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に利用した用語)		
WPI		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 10-31742, A (三菱電機株式会社) 3. 2月, 1998 (03. 02. 98) 全文, 全国 (ファミリーなし)	1-17
A	JP, 8-145628, A (日本電信電話株式会社) 7. 6月, 1996 (07. 06. 96) 全文, 全国 (ファミリーなし)	1-17
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「B」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に裏書きを添付する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		
の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日に後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の定解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日	01. 06. 00	国際調査報告の発送日 13.06.00
国際調査機関の名称及び所在地 日本特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (捺印のある職員) 誠評 栗子	23 7150
電話番号 03-3581-1101 内線 3256		

様式PCT/ISA/210 (第2ページ) (1998年7月)

(42)

WO00/57129

国際調査報告		国際出願番号 PCT/JPO0/01685
C (続9). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	J P, 9-147121, A (豊田工業株式会社) 6. 6月, 1997 (06. 06. 97) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	J P, 5-134731, A (日本電装株式会社) 1. 6月, 1993 (01. 06. 93) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	J P, 9-277184, A (株式会社リコー) 28. 10月, 1997 (28. 10. 97) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	J P, 6-35517, A (三洋電機株式会社) 10. 2月, 1994 (10. 02. 94) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17
A	J P, 7-299782, A (川崎重工業株式会社) 14. 11月, 1995 (14. 11. 95) 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-17

様式PCT/ISA/E10 (第2ページの続き) (1998年7月)

(43)

WO 00 / 5 7 1 2 9

(注) この公表は、国際事務局 (WIPO) により国際公開された公報を基に作成したものである。

なおこの公表に係る日本語特許出願 (日本語実用新案登録出願) の国際公開の効果は、特許法第 184 条の 10 第 1 項 (実用新案法第 48 条の 13 第 2 項) により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。